

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.

PAT-NO: JP02000097786A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 2000097786 A
TITLE: MECHANICAL FORCE SENSOR
PUBN-DATE: April 7, 2000

INCLUDES
TRANSLATED
COPY

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
MATSUDA, YOSHIKAZU	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
FURUKAWA ELECTRIC CO LTD:THE	N/A

APPL-NO: JP10271734

APPL-DATE: September 25, 1998

INT-CL (IPC): G01L001/24, G02B005/18 , G02B006/00

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To detect a mechanical force through a single FBG (optical fiber Bragg diffraction grating) without being affected by temperature variation by using an FBG having uniform lattice spacing.

SOLUTION: The mechanical force sensor comprises an optical fiber having an FBG 4 of uniform lattice spacing at a part in the longitudinal direction, and a tension member 11 having a part 12 generating strain upon application of a tensile force wherein the FBG 4 part of the optical fiber 1 is bonded to the part 12 of the tension member 11 generating uniform strain. Since the lattice spacing of the FBG 4 becomes uneven upon application of

tensile force,
bandwidth of reflected wave is widened and the tensile
force can be measured
from the variation of bandwidth.

COPYRIGHT: (C) 2000, JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-97786
(P2000-97786A)

(43) 公開日 平成12年4月7日 (2000.4.7)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
G 0 1 L 1/24		G 0 1 L 1/24	A 2 H 0 3 8
G 0 2 B 5/18		G 0 2 B 5/18	2 H 0 4 9
6/00		6/00	B

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平10-271734

(22) 出願日 平成10年9月25日 (1998.9.25)

(71) 出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72) 発明者 松田 美一

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(74) 代理人 100078329

弁理士 若林 広志

Fターム(参考) 2H038 AA05 AA22 BA25

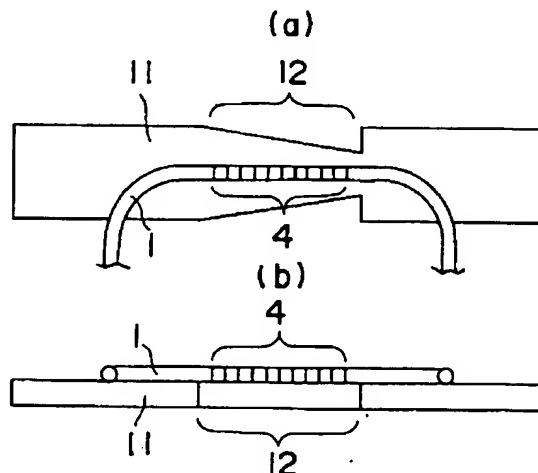
2H049 AA55 AA62 AA66 AA68

(54) 【発明の名称】 力学的力センサ

(57) 【要約】

【課題】 FBG (光ファイバブラッグ回折格子) として格子間隔の均一なものを使用して、1本のFBGで温度変化の影響を受けることなく力学的力を検知できるようにする。

【解決手段】 長さ方向の一部に格子間隔の均一なFBG 4を有する光ファイバ1と、引張力が加わると不均一な歪みが発生する部分12を有する引張部材11とからなり、光ファイバ1のFBG 4の部分を引張部材11の不均一な歪みが発生する部分12に接着固定した。引張力が加わるとFBG 4の格子間隔が不均一になり、反射波の帯域幅が広がるので、帯域幅の変化で引張力を測定できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】長さ方向の一部に格子間隔の均一なFBG（光ファイバブラッグ回折格子）を有する光ファイバと、力学的力が加わると不均一な歪みを発生する部分を有する歪み発生部材とからなり、前記光ファイバのFBGの部分の前記歪み発生部材の不均一な歪みを発生する部分に固定したことを特徴とする力学的力センサ。

【請求項2】歪み発生部材の不均一な歪みを発生する部分は、力学的力が加わる方向に断面積を変化させたものであることを特徴とする請求項1記載の力学的力センサ。

【請求項3】長さ方向の一部に格子間隔の均一なFBGを有する光ファイバと、圧力検知用のダイヤフラムとからなり、前記光ファイバのFBGの部分、前記ダイヤフラムの不均一な歪みを発生する部分に固定したことを特徴とする圧力センサ。

【請求項4】長さ方向の一部に格子間隔の均一なFBGを有する光ファイバと、圧力検知用のダイヤフラムとからなり、前記光ファイバのFBGの部分、前記ダイヤフラムの伸び歪みを発生する部分と縮み歪みを発生する部分にまたがるように固定したことを特徴とする圧力センサ。

【請求項5】長さ方向の一部に格子間隔の均一なFBGを有し、FBGを有する区間の断面積が長手方向に変化している光ファイバと、力学的力が加わると均一な歪みを発生する部分を有する歪み発生部材とからなり、前記光ファイバの断面積が長手方向に変化している部分の両側を前記歪み発生部材の均一な歪みを発生する部分に固定したことを特徴とする力学的力センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、FBG（光ファイバブラッグ回折格子）を用いて引張力、圧縮力、圧力などの力学的力を検知する力学的力センサに関するものである。

【0002】

【従来の技術】FBGは、光ファイバ中を伝搬するいろいろな波長の光のうち、ブラッグ波長と呼ばれるある特定の波長の光を反射する機能をもつ光ファイバである。この性質を利用して、FBGは、圧力センサ、引張力センサ、温度センサなどの検知素子、あるいは光フィルタなどの光通信回路素子、などに使用されている。

【0003】図9にFBGを有する光ファイバを模式的に示す。符号1は光ファイバで、コア2とクラッド3から構成され、その長さ方向の一部にFBG4が形成されている。FBG4は屈折率の高い領域N_Hと低い領域N_Lが光ファイバの長さ方向に交互に形成された構造となっている。FBGの光の透過特性は、ブラッグ波長（反射波長）と反射波長範囲の二つのパラメータで表される。

【0004】FBGでは光ファイバ中を伝搬してきた光のうち、ブラッグ波長を中心にしたある波長範囲の光が反射される。ブラッグ波長 λ_B は、次式のように屈折率 n_e と格子間隔 d で決まる。

【0005】

$$\lambda_B = 2 n_e \cdot d$$

【0006】屈折率 n_e は実効屈折率といわれ、光ファイバの構造で決まる量であるが、ほぼコア材の屈折率と等しい。また、FBGで反射される光の波長範囲、すなわち帯域幅は、格子の数で決まり、格子の数が多いほど帯域幅は狭くなる。

【0007】光ファイバ1に引張力あるいは温度変化などが加えられると、FBG4のブラッグ波長（反射波長）が変化する。これは引張力あるいは温度変化により屈折率 n_e および格子間隔 d が変化するからである。しかし格子の数は変化しないので反射波の帯域幅は変化しない。

【0008】このようなFBGを圧力センサ、引張力センサなどに応用する場合、従来はブラッグ波長の変化を検知する方法が用いられている。しかしながらこの方法では、ブラッグ波長の変化が、歪みによるものか、温度変化によるものか、区別することができない。このため何らかの温度補償を採用する必要がある。従来の代表的な温度補償方法は、①FBGを2本使用する方法と、②チャープドグレイティング（Chirped Grating）と呼ばれる構造のFBGを使用する方法である。

【0009】図10(a)、(b)は2本のFBGを使用した温度補償方法を示す。図において、1aは第一のFBG4aを有する第一の光ファイバ、1bは第二のFBG4bを有する第二の光ファイバ、5は圧力によってたわむ円板状のダイヤフラム、6はダイヤフラム5の周辺を密封状態に支持する圧力容器、7は加圧流体導入部である。第一のFBG4aは歪みを検知するためのもので、ダイヤフラム5の中心部に直径方向に向けて接着などの手段で固定される。これはダイヤフラム5の中心部が歪みの検知感度が最も大きいからである。圧力容器6内の圧力が高くなってダイヤフラム5がたわむと、それと共に第一のFBG4aが歪み、ブラッグ波長が変化する。一方、第二のFBG4bは温度補償のためのもので、ダイヤフラム5の歪みを検知しない位置（圧力容器固定部）に接着などの手段で固定される。

【0010】上記のような構成にして、温度補償用の第二のFBG4bについては予め温度変化によるブラッグ波長の変化を校正しておく。また歪み検知用の第一のFBG4aについても予め圧力（歪み）と温度変化によるブラッグ波長の変化を校正しておく。このような手続を行っておけば、第一のFBG4aでブラッグ波長の変化を測定したときに、第二のFBG4bで測定した温度変化によるブラッグ波長の変化分を補正することができるので、温度補償された正確な圧力を測定することができ

る。ただしこの方法は第一のFBG4aと第二のFBG4bの温度が等しいことが前提となる。

【0011】図11はチャープドグレイティング構造のFBGを示す。図において、1は光ファイバ、2はコア、3はクラッド、8はチャープドグレイティング構造のFBGである。このFBG8は次のようにして製造される。まず、FBGを形成しようとする部分のクラッド3をフッ酸などでエッチングしてテーパ状に加工する。次に光ファイバ1に一定の引張力を加えて、その状態を保持する。引張力が加わるとテーパ領域では細い部分が太い部分より大きく伸びることになる。この状態で、通常の格子間隔が一定なFBGを形成する。その後、光ファイバの引張力を除去すると、テーパ領域では細い部分が太い部分より大きく縮むので、その結果として、図11のように太い部分から細い部分にかけて格子間隔が徐々に狭くなったチャープドグレイティング構造のFBG8が得られることになる。

【0012】このようなチャープドグレイティング構造のFBG8は、格子間隔の異なるFBG、すなわちブラッグ波長の異なるFBGが連続的につながったものに相当するので、いろいろな波長の光を反射する。つまり反射波の帯域幅が広がっている。このようなチャープドグレイティング構造のFBG8に引張力を加えると、チャープドグレイティング構造のFBGから格子間隔の均一なFBGへと変化するもので、それに応じて反射波の帯域幅が小さくなる。このとき温度変化が加わったとすると、温度変化はブラッグ波長を変化させるだけで、帯域幅の変化には無関係である。したがってチャープドグレイティング構造のFBGを使用して帯域幅の変化を測定すれば、温度変化とは無関係に歪み(引張力)を測定することができる。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】しかし前記①のFBGを2本使用方法には次のような問題がある。

- ・FBGが2本必要になるため、コストが高くなる。
- ・2本のFBGの接続作業が必要となり、組立工数が増加し、コストが高くなる。

- ・センサシステムの構成の面では、FBGを2本接続して伝送路に挿入するので、伝送損失の増加となる。伝送損失が増加すると、検知光が弱くなるので、SN比が劣化し、測定精度が悪くなる。

- ・多点計測の場合、伝送損失が増加すると、設置できるセンサの数が限られる。このため測定点数が少なくなり、監視範囲が狭くなる。

- ・2本のFBGについて予め校正が必要になる。

- ・實際上、2本のFBGが正確に同一の温度になるわけではなく、温度補償の誤差がともなう。

【0014】また前記②のチャープドグレイティング構造のFBGを使用する方法には次のような問題がある。

- ・FBGを形成するときに光ファイバに張力を印加する

必要があり、製造が面倒で、装置も複雑になる。

- ・光ファイバにテーパ部を形成する工程が必要であり、このテーパ部を精密に形成することは容易ではない。またテーパ加工のコストがかかる。

- ・テーパ部は細い上に、テーパ加工にともなう強度的な欠陥がガラス表面に不可避免的に発生するため、光ファイバの強度が著しく低下し、取扱いが困難になる。

【0015】本発明の目的は、以上のような問題点を解決した力学的力センサを提供することにある。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明に係る力学的力センサは、長さ方向の一部に格子間隔の均一なFBGを有する光ファイバと、力学的力が加わると不均一な歪みを発生する部分を有する歪み発生部材とからなり、前記光ファイバのFBGの部分を前記歪み発生部材の不均一な歪みを発生する部分に固定したことを特徴とするものである(請求項1)。

【0017】本発明の力学的力センサにおける、歪み発生部材の不均一な歪みを発生する部分は、力学的力が加わる方向に断面積を変化させたもので構成することができる(請求項2)。

【0018】本発明に係る力学的力センサが圧力センサである場合には、長さ方向の一部に格子間隔の均一なFBGを有する光ファイバと、圧力検知用のダイヤフラムとからなり、前記光ファイバのFBGの部分を、前記ダイヤフラムの不均一な歪みを発生する部分に固定した構成にするとよい(請求項3)。

【0019】また本発明に係る力学的力センサが圧力センサである場合には、長さ方向の一部に格子間隔の均一なFBGを有する光ファイバと、圧力検知用のダイヤフラムとからなり、前記光ファイバのFBGの部分を、前記ダイヤフラムの伸び歪みを発生する部分と縮み歪みを発生する部分にまたがるように固定した構成とすることがより好ましい(請求項4)。

【0020】また本発明に係る力学的力センサは、長さ方向の一部に格子間隔の均一なFBGを有し、FBGを有する区間の断面積が長手方向に変化している光ファイバと、力学的力が加わると均一な歪みを発生する部分を有する歪み発生部材とからなり、前記光ファイバの断面積が長手方向に変化している部分の両側を前記歪み発生部材の均一な歪みを発生する部分に固定した構成とすることもできる(請求項5)。

【0021】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面を参照して詳細に説明する。

〔実施形態1〕図1は本発明の一実施形態を示す。この実施形態は引張力センサである。図において、1は長さ方向の一部に格子間隔の均一なFBG4を有する光ファイバ、11は金属板からなる引張部材(歪み発生部材)である。引張部材11は長さ方向の中間部に幅が徐々に狭く

5

なる部分12を有している。この部分12は、引張部材11が引張力を受けたときに不均一な伸び歪みを発生する。つまり幅が広い部分より幅が狭い部分の方が大きい伸び歪みを発生する。光ファイバ1のFBG4の部分は、引張部材11の幅が徐々に狭くなる部分12に、その長さ方向を引張部材11の長さ方向に向けて、接着などの手段により固定されている。

【0022】この引張力センサは以上のような構成であるから、引張部材11に引張力を加えた場合、幅が徐々に狭くなる部分12は、幅が狭い方ほど大きい伸び歪みが発生するため、そこに固定されているFBG4もそれと同じ伸び歪みが発生することになる。その結果、FBG4は格子間隔が均一な状態から不均一な状態(チャープドグレイティング構造)に変化することになり、反射波の帯域幅は図2に示すように引張力を加える前より加えた後の方が広くなるので、帯域幅を測定することにより引張力の大きさを測定することができる。帯域幅の変化は温度変化とは無関係であるので、この引張力センサを用いれば温度変化の影響を受けることなく引張力を測定することができる。

【0023】次のような構造の引張力センサを試作した。

引張部材11の、板厚=100 μ m

幅が徐々に狭くなる部分12の最大幅=10mm

幅が徐々に狭くなる部分12の最小幅=5mm

材質: ステンレススチール

FBG4の、ブラッグ波長: 1.55 μ m

帯域幅: 0.2 nm

この引張力センサに引張力を加え、引張力を0~20kgの範囲で変化させた結果、反射波の帯域幅が変化することが分かった。また温度を0℃から40℃まで変化させたが、帯域幅は変化しなかった。

【0024】〔実施形態2〕図3は本発明の他の実施形態を示す。この実施形態も引張力センサである。図において、1は実施形態1と同じFBG4を有する光ファイバ、13は金属丸棒からなる引張部材(歪み発生部材)である。引張部材13は中心に長さ方向の孔を有し、かつ長さ方向の中間部に外径が徐々に小さくなるテーパ部分14を有している。このテーパ部分14は、引張部材13が引張力を受けたときに不均一な伸び歪みを発生する。つまり外径が大きい部分より外径が小さい部分の方が大きい伸び歪みを発生する。光ファイバ1は引張部材13の中心の孔に、FBG4の部分がテーパ部分14内に位置するように挿通され、引張部材13の内面に接着などの手段により固定されている。このような引張力センサでも実施形態1と同様に引張力を検知することができる。

【0025】なお、上記のような引張力センサを製作する場合には、縦に二つ割りの引張部材13を製作し、その間に光ファイバ1を挟んで接着剤で接着すると、製作が容易である。また図3のタイプの引張力センサは、引張

6

部材13に両端から圧縮力を加えれば、圧縮力センサとしても使用可能である。

【0026】〔実施形態3〕図4は本発明のさらに他の実施形態を示す。この実施形態は圧力センサである。図において、1は実施形態1と同じFBG4を有する光ファイバ、5は圧力によってたわむ円板状のダイヤフラム(歪み発生部材)、6はダイヤフラム5の周辺を密封状態に支持する圧力容器、7は加圧流体導入部である。この実施形態では、FBG4が、図4(a)、(b)に示すようにダイヤフラム5の中心部から外れた位置に径方向に向けて接着などの手段で固定されている。

【0027】図4(c)はダイヤフラム5に圧力がかかった場合の半径方向の各部における歪みの大きさを示している。ダイヤフラム5はある程度の剛性を有しているため、周辺部が圧力容器6の縁に完全に固定されているため、ダイヤフラム5に圧力がかかった場合のダイヤフラムの表面の歪みは、半径方向のある位置Tを境にして、それより中心寄りでは伸び歪みに、外周寄りでは縮み歪みになる。円板状ダイヤフラムの場合、表面の歪みが伸び歪みから縮み歪みに変わる位置Tは、中心から半径の約0.6倍のあたりにある。

【0028】したがって格子間隔の均一なFBG4を上記の位置Tをまたぐようにダイヤフラム5に固定しておくと、ダイヤフラム5に圧力がかかった場合、FBG4は一端側(ダイヤフラムの中心側)が伸び、他端側(ダイヤフラムの外周側)が縮むことになる。その結果、FBG4の格子間隔が一端側では広くなり、他端側では狭くなるので、FBG4はチャープドグレイティング構造に変化することになる。したがって反射波の帯域幅を測定することにより温度変化とは無関係に圧力の大きさを検知することが可能となる。

【0029】次のような構造の圧力センサを試作した。

ダイヤフラム5の、板厚=0.15mm

直径=25mm

材質: ステンレススチール

FBG4の、ブラッグ波長: 1.55 μ m

帯域幅: 0.2 nm

この圧力センサに圧力を加え、圧力を0から0.3気圧(水柱で換算して3m)変化させたと、反射波の帯域幅は約2nmになった。また温度を室温から約40℃変化させたが、帯域幅の変化はなかった。

【0030】〔実施形態4〕図5は本発明のさらに他の実施形態を示す。この実施形態は引張力センサとしても、曲げ応力センサとしても使用可能である。図において、1は実施形態1と同じFBG4を有する光ファイバ、15は金属角棒からなる引張部材(歪み発生部材)である。引張部材15は長さ方向中間部に長さ方向と直交する方向に溝16を形成して、その部分の断面積を小さくしてある。したがって引張部材11が引張力を受けたときには、溝16の部分はそれ以外の部分より大きい伸び歪みを

発生することになる。光ファイバ1は、FBG4の半分が溝16の開口区間内にあり、残りの半分が引張部材15上にあるように配置されている。光ファイバ1は、溝16の両側で引張部材15に接着などの手段により固定されている。

【0031】このような構成にすると、引張部材15に引張力がかかった場合、FBG4は、引張部材15に固定されている部分はほとんど伸びずに、溝16の開口区間内にある部分が大きく伸びる。したがってFBG4のブラッグ波長は図6のように二つに分かれるが、引張力を帯域幅の広がりとして検知できることは前記実施形態と同様である。なおこの実施形態のセンサは、引張部材15に図5(b)の矢印P、Q方向の力を加えた場合には、曲げ応力センサとしても使用可能である。

【0032】〔実施形態5〕図7は本発明のさらに他の実施形態を示す。この実施形態は、引張部材15の長さ方向中間部に溝16を形成し、FBG4が溝16の両側にまたがるように配置してFBG4の両端部を溝16の両側で引張部材15に接着固定したものである。このような構成でも実施形態4と同様な効果を得ることができる。

【0033】〔実施形態6〕図8は本発明のさらに他の実施形態を示す。この実施形態は引張力センサである。図において、1は光ファイバ、2はコア、3はクラッド、4は長さ方向の一部に形成された格子間隔の均一なFBG4である。FBG4を含む区間のクラッド3はフッ酸などでエッチングしてテーパ状に加工されている。17は長さ方向に断面積の均一な金属棒または金属板からなる引張部材（歪み発生部材）である。光ファイバ1はテーパ部分18の両側が引張部材17に接着などの手段により固定されている。

【0034】このような構成にすると、引張部材17に引張力が加わった場合、引張部材17には長さ方向に均一な伸び歪みが発生するが、光ファイバ1のテーパ部分18では外径が小さい方ほど大きい伸び歪みが発生する。このためFBG4は、格子間隔が均一な状態から不均一な状態（チャープドグレイティング構造）に変化することになり、帯域幅を測定することにより引張力の大きさを測定することができる。

【0035】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、1本のFBGで温度変化の影響を受けることなく力学的力を検知できると共に、FBGとしては格子間

隔の均一なものを使用できる。このため従来のFBGを2本使用する場合の問題点やチャープドグレイティング構造のFBGを使用する場合の問題点を解消することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る引張力センサの一実施形態を示す、(a)は平面図、(b)は正面図。

【図2】 図1の引張力センサのFBGの反射波の波形を示すグラフ。

【図3】 本発明に係る引張力センサの他の実施形態を示す斜視図。

【図4】 本発明に係る圧力センサの一実施形態を示す、(a)は平面図、(b)は(a)のb-b線断面図、(c)はダイヤフラムの歪みのグラフ。

【図5】 本発明に係る引張力センサのさらに他の実施形態を示す、(a)は平面図、(b)は(a)のb-b線断面図。

【図6】 図5の引張力センサのFBGの反射波の波形を示すグラフ。

【図7】 本発明に係る引張力センサのさらに他の実施形態を示す、(a)は平面図、(b)は(a)のb-b線断面図。

【図8】 本発明に係る引張力センサのさらに他の実施形態を示す断面図。

【図9】 FBGの構造を示す断面図。

【図10】 従来のFBGを用いた圧力センサを示す、(a)は平面図、(b)は(a)のb-b線断面図。

【図11】 チャープドグレイティング構造のFBGを示す断面図。

30 【符号の説明】

1：光ファイバ

4：FBG（光ファイバブラッグ回折格子）

5：ダイヤフラム

6：圧力容器

11：板状の引張部材

12：幅が徐々に狭くなる部分

13：丸棒状の引張部材

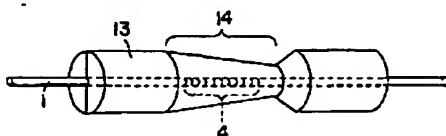
14：テーパ部分

15：角棒状の引張部材

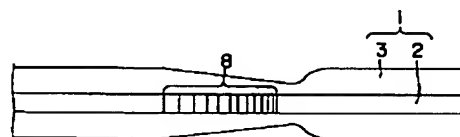
40 16：溝

17：断面積の均一な引張部材

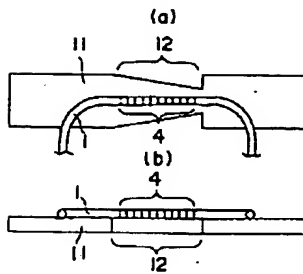
【図3】



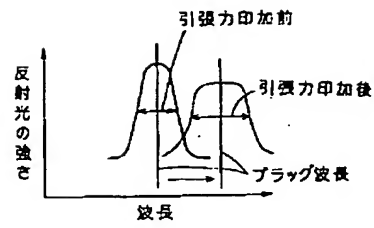
【図11】



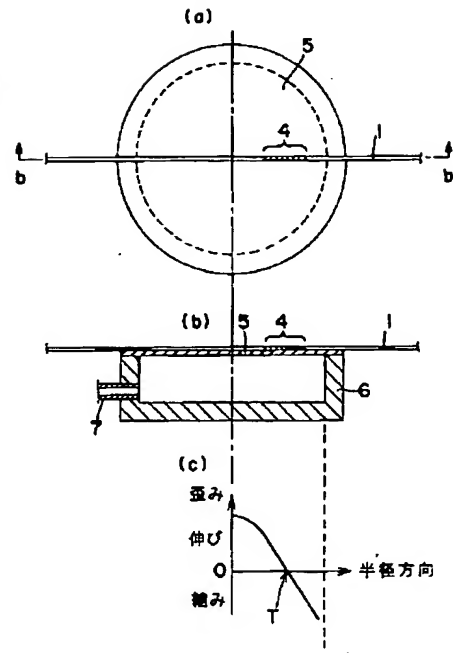
【図1】



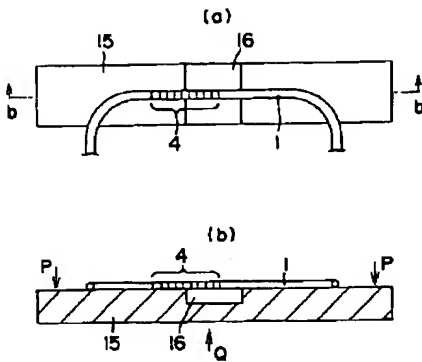
【図2】



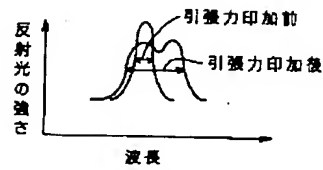
【図4】



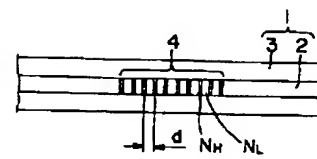
【図5】



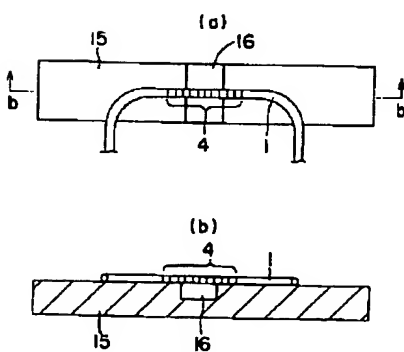
【図6】



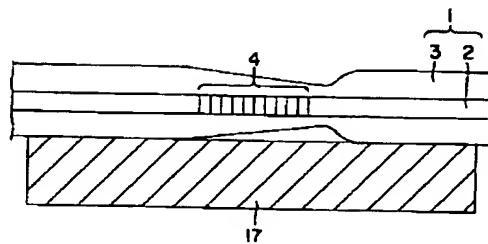
【図9】



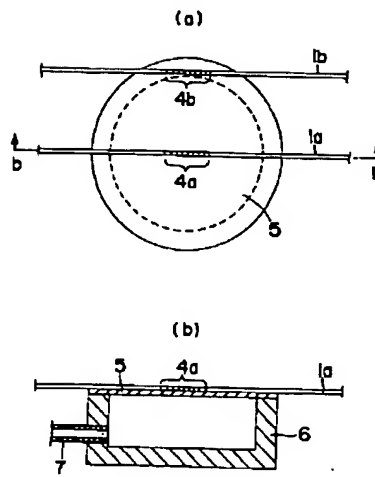
【図7】



【図8】



【図10】



PTO 03-2476

CY=JP DATE=20000407 KIND=A
PN=12-097786

DYNAMIC FORCE SENSOR
[Rikigakuteki chikara sensa]

Yoshikazu Matsuda

UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE
Washington, D.C. April 2003

Translated by: FLS, Inc.

PUBLICATION COUNTRY	(19):	JP
DOCUMENT NUMBER	(11):	2000097786
DOCUMENT KIND	(12):	A [PUBLISHED UNEXAMINED APPLICATION]
PUBLICATION DATE	(43):	20000407
APPLICATION NUMBER	(21):	100271734
APPLICATION DATE	(22):	19980925
INTERNATIONAL CLASSIFICATION	(51):	G 01 L 1/24 G 02 B 5/18 6/00
INVENTOR	(72):	MATSUDA, YOSHIKAZU
APPLICANT	(71):	FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.
TITLE	(54):	DYNAMIC FORCE SENSOR
FOREIGN TITLE	(54A):	RIKIGAKUTEKI CHIKARA SENSE

[Claim 1] A dynamic force sensor characterized in that it consists of an optical fiber provided with an FBG with even grating intervals in one lengthwise portion and a strain generating member that, when a dynamic force is applied to it, generates uneven strain and characterized in that said FBG portion of the optical fiber is fixed to the portion of said strain generating member that generates uneven strain.

[Claim 2] A dynamic force sensor of Claim 1 characterized in that the portion of the strain generating member that causes uneven strain is obtained by altering its cross-sectional area in the direction in which dynamic forces are applied.

[Claim 3] A pressure sensor characterized in that it is comprised of an optical fiber that has an FBG having even grating intervals at one lengthwise portion and of a diaphragm for pressure detection and characterized in that said FBG portion of the optical fiber is fixed at a portion of said diaphragm that generates uneven strain.

[Claim 4] A pressure sensor characterized in that it is comprised of an optical fiber that has an FBG having even grating intervals at one lengthwise portion and of a diaphragm for pressure detection and characterized in that said FBG portion of the optical fiber is fixed in a manner such that it crosses over a portion of said diaphragm that causes elongation strain and a portion that causes compression strain.

[Claim 5] A dynamic force sensor characterized in that: it is comprised of an optical fiber that has an FBG having even grating intervals

* Number in the margin indicates pagination in the foreign text.

at one lengthwise portion and in which the cross-sectional area of the zone containing the FBG changes in the lengthwise direction and of a strain generating member that has a portion that, when a dynamic force is applied to it, generates even strain; and both sides of said portion of the optical fiber in which the cross-sectional area changes in the lengthwise direction are fixated to the portion of said strain generating member that generates even strain.

[Detailed Explanation of the Invention]

[0001] [Field of the Invention]

The present invention pertains to dynamic force sensors that detect dynamic forces, such as tensile force, compressive force, pressure, etc., by using FBGs (fiber Bragg gratings).

[0002] [Prior Art]

FBGs are optical fibers that have a function for reflecting light having a specific wavelength, called the Bragg wavelength, from among lights of various wavelengths that are transmitted through the optical fibers. By using this property, FBGs are utilized as detection components of pressure sensors, tensile force sensors, temperature sensors, etc., as optical communication circuit components such as optical filters, etc.

[0003] Figure 9 shows a model of an optical fiber having an FBG. The reference numeral [1] is an optical fiber that consists of a core [2] and a cladding [3], and the FBG [4] is provided to a portion of its lengthwise direction. The FBG [4] has a structure in which regions [N_H] having high refractive indexes and regions [N_L] having low refractive indexes are provided alternately in the lengthwise direction of the optical

fiber. The light transmission characteristics of the FBG are indicated by means of two parameters, which are the Bragg wavelength (reflective wavelength) and the reflected wavelength range.

[0004] From among the light that is transmitted through the optical fiber, light of a certain wavelength range that has the Bragg wavelength in the center becomes reflected in the FBG. The Bragg wavelength, λ_B , is determined based on the refractive index, n_e , and the grating intervals, d , as in the following equation.

[0005]

$$[\text{Math 1}] \quad \lambda_B = 2n_e \cdot d$$

[0006] The refractive index, n_e , is called an effective refractive index, and it is a value determined based on the structure of the optical fiber and is approximately equivalent to the refractive index of the core material. Moreover, the wavelength range, that is to say the bandwidth, of light reflected by the FBG is determined by the number of the gratings, and the greater the number of gratings, the narrower the bandwidth becomes.

[0007] When a tensile force or a temperature change is applied to the optical fiber [1], the Bragg wavelength (reflection wavelength) of the FBG [4] changes. This is because the refractive index, n_e , and grating interval, d , are changed by the tensile force or temperature change. However, since the number of the gratings does not change, the bandwidth of the reflected wave does not change.

[0008] For the application of such an FBG to a pressure sensor, tensile force sensor, etc., a method for detecting a change in the Bragg wavelength has conventionally been utilized. However, it is not possible in this

method to distinguish whether the change in the Bragg wavelength is caused by a strain or a temperature change. Therefore, it is necessary to adopt some type of temperature compensation method. Conventional representative temperature compensation methods are (1) a method in which 2 FBGs are utilized and (2) a method in which an FBG having a structure called chirped grating is utilized.

[0009] Figure 10(a) and (b) show a temperature compensation method in which 2 FBGs are utilized. In the figure, [1a] is a first optical fiber having the first FBG [4a], [1b] is a second optical fiber having the second FBG [4b], [5] is a disc-shaped diaphragm that becomes warped with pressure, [6] is a pressure vessel that supports the circumferential area of the diaphragm [5] in a sealed state, and [7] is a pressure fluid guiding part. The first FBG [4a] is for detecting a strain, and it is fixated to the center of the diaphragm [5] in the diameter direction by means of bonding, etc. This is because the center of the diaphragm [5] has the highest sensitivity for the detection of strains. When the diaphragm [5] becomes warped as a result of the pressure inside the pressure vessel [6] becoming high, the first FBG [4a] becomes deformed at the same time, and the Bragg wavelength becomes changed. On the other hand, the second FBG [4b] is for temperature compensation, and it is fixated by means of bonding, etc. to a location (pressure vessel fixing portion) in which the strain of the diaphragm [5] is not detected.

[0010] In the above structure, the second FBG [4b] for temperature compensation is calibrated in advance for Bragg wavelength changes caused by temperature changes. Moreover, the first FBG [4a] for strain detection

is also calibrated in advance for Bragg wavelength changes caused by pressures (strains) and temperature changes. By performing such procedures in advance, it becomes possible to compensate for a change in the Bragg wavelength caused by a temperature change measured by the second FBG [4b] when the change in the Bragg wavelength is measured by the first FBG [4a]. Therefore, it is possible to measure an accurate, temperature-compensated pressure. Note, however, that the premise of this method is that the /3 temperatures of the first FBG [4a] and the second FBG [4b] are the same.

[0011] Figure 11 shows an FBG having a chirped grating structure. In the figure, [1] is an optical fiber, [2] is a core, [3] is a cladding, and [8] is an FBG having a chirped grating structure. This FBG [8] is manufactured in the following manner. First, the cladding [3] of the area to which the FBG is to be provided is etched into a tapered shape by means of hydrofluoric acid, etc. Next, a constant tensile force is applied to the optical fiber [1] and the condition is maintained. In the tapered area, the narrow portion stretches more than the thick portion when a tensile force is applied. In this state, a regular FBG, which has constant grating intervals, is formed. After that, when the tensile force of the optical fiber is removed, the thin portion shrinks more than the thick portion in the tapered area, and as a result, an FBG [8] having a chirped grating structure in which the grating intervals become gradually narrower from the thick portion to the thin portion as in Figure 11 is obtained.

[0012] The FBG [8] having such a chirped grating structure is equivalent to FBGs having different grating intervals, in other words, FBGs having different Bragg wavelengths, connected continuously to one

another, and therefore, it reflects lights of various wavelengths. This is to say that the bandwidth of the reflected wave is wide. When a tensile force is applied to the FBG [8] having such a chirped grating structure, the FBG having the chirped grating structure changes into an FBG having the same grating intervals, and the bandwidth of the reflected wave becomes small accordingly. If there is a temperature change at this time, the temperature change merely alters the Bragg wavelength and is unrelated to a bandwidth change. Therefore, by measuring the change in the bandwidth by using an FBG having the chirped grating structure, it is possible to measure the strain (tensile force) independently of temperature changes.

[0013] [Problems that the Invention is to Solve]

However, the above method (1) in which 2 FBGs are utilized has the following problem.

- Since 2 FBGs are required, the cost becomes high.
- The task of connecting the 2 FBGs becomes necessary, which increases the assembly labor hours and increases the cost.
- From the perspective of the sensor system structure, the transmission loss increases since 2 connected FBGs are inserted into the transmission path. The detection light becomes weak when the transmission loss increases, which deteriorates the SN ratio and the measuring accuracy.
- In the case of multi-point measurement, the number of sensors that can be provided becomes limited when the transmission loss increases. For this reason, the number of measurement points decreases, and the monitored range becomes narrow.

- Calibrations become necessary for the 2 FBGs in advance.
- In actuality, the temperatures of the 2 FBGs are not the same, and a temperature-compensation error occurs.

[0014] Moreover, the above method (2) in which an FBG having a chirped grating structure is utilized has the following problems.

- When providing the FBG, a tensile force must be applied to the optical fiber, which makes the manufacture troublesome and the device complex.
- A process for providing the optical fiber with a tapered portion is necessary, and precise formation of this tapered portion is not easy. Moreover, the cost of this tapering process is high.
- In addition to the fact that the tapered portion is thin, a defect of strength caused by the tapering process inevitably occurs in the glass surface, which substantially lowers the strength of the optical fiber and makes it difficult to handle.

[0015] The purpose of the invention of this application is to supply a dynamic force sensor that solves the above problems.

[0016] [Means for Solving the Problems]

A dynamic force sensor pertaining to the present invention is characterized in that it consists of an optical fiber provided with an FBG with even grating intervals in one lengthwise portion and a strain generating member that, when a dynamic force is applied to it, generates uneven strain and characterized in that said FBG portion of the optical fiber is fixed to the portion of said strain generating member that generates uneven strain (Claim 1).

[0017] The portion of the strain generating member of the dynamic force sensor of the present invention that causes uneven strain can be structured by altering the cross-sectional area in the direction in which dynamic forces are applied (Claim 2).

[0018] In a case in which the dynamic force sensor pertaining to the present invention is a pressure sensor, the structure should be comprised of an optical fiber provided with an FBG having even grating intervals at one lengthwise portion and of a diaphragm for pressure detection and should have said FBG portion of the optical fiber fixed at a portion of said diaphragm that generates uneven strain (Claim 3).

[0019] Moreover, in a case in which the dynamic force sensor pertaining to the present invention is a pressure sensor, it is preferred that the structure be comprised of an optical fiber provided with an FBG having even grating intervals at one lengthwise portion and of a diaphragm for pressure detection and that the structure have said FBG portion of the optical fiber fixed in a manner such that it crosses over a portion of said diaphragm that causes elongation strain and a portion that causes compression strain (Claim 4).

[0020] Moreover, a dynamic force sensor pertaining to the present invention may have a structure that is comprised of an optical fiber that has an FBG with even grating intervals at one lengthwise portion and in which the cross-sectional area of the zone containing the FBG changes in the lengthwise direction and comprised of a strain generating member that has a portion that, when a dynamic force is applied to it, generates even strain, and a structure in which both sides of said portion of the

optical fiber in which the cross-sectional area changes in the lengthwise direction are fixated to the portion of said strain generating member that generates even strain (Claim 5).

[0021] [Working Modes of the Invention]

Working modes of the present invention will be explained in detail by referring to drawings below.

[Working Mode 1] Figure 1 shows one working mode of the present invention. This working mode is a tensile force sensor. In the drawing, [1] is an optical fiber provided with an FBG [4] that has even grating intervals at one lengthwise portion, and [11] is a tension member (strain generating member) made from a metal plate. The tension member [11] /4 has a portion [12] that gradually narrows at the lengthwise center. This portion [12] generates uneven elongation strain when the tension member [11] receives a tensile force. In other words, a narrower portion generates a larger elongation strain than a wider portion. The FBG [4] portion of the optical fiber [1] is fixated to the portion [12] of the tension member [11] that gradually narrows by means of bonding, etc. in a manner such that its lengthwise direction is oriented toward the lengthwise direction of the tension member [11].

[0022] Because this tensile force sensor has the above structure, the narrower that the portion [12] that narrows gradually becomes, the greater the elongation strain generated in it becomes when a tensile force is applied to the tension member [11], and the same elongation strain occurs in the FBG [4] fixated to it. As a result, the FBG [4] shifts from a state in which the grating intervals are even to a state in which they

are uneven (chirped grating structure), and since the bandwidth of the reflected wave becomes wider after the application of a tensile force than before the application, as indicated in Fig. 2, the degree of the tensile force can be measured by measuring the bandwidth. Since a change in the bandwidth is unrelated to a temperature change, a tensile force can be measured without receiving the influence of a temperature change by using this tensile force sensor.

[0023] A tensile force sensor having the following structure was made as a prototype.

Plate thickness of the tension member [11] = $100\mu\text{m}$

Maximum width of the portion [12] that narrows gradually = 10mm

Minimum width of the portion [12] that narrows gradually = 5mm

Material = stainless steel

Bragg wavelength of the FBG [4] = $1.55\mu\text{m}$

Bandwidth = 0.2nm

As a result of applying a tensile force to this tensile force sensor and varying the tensile force in the 0~20kg range, it was discovered that the bandwidth of the reflected wave changes. Moreover, the temperature was changed from 0°C to 40°C , but the bandwidth did not change.

[0024] [Working Mode 2] Figure 3 shows another working mode of the present invention. This working mode is also a tensile force sensor. In the Figure, [1] is an optical fiber having the same FBG [4] as that of the working mode [1], and [13] is a tension member (strain generating member) made from a round metal bar. The tension member [13] has a lengthwise hole in the center and also has a tapered portion [14] that

has a gradually decreasing outside diameter at the lengthwise center. This tapered portion [14] generates uneven elongation strain when the tension member [13] receives a tensile force. In other words, the portion with a larger outside diameter generates a greater elongation strain than the portion with a smaller outside diameter. The optical fiber [1] is inserted into the center hole of the tension member [13] in a manner such that the FBG [4] portion is positioned inside the tapered portion [14] and is fixated to the inner surface of the tension member [13] by means of bonding, etc. A tensile sensor such as this can also detect a tensile force in the same manner as the working mode [1].

[0025] Moreover, when making the above tensile sensor, the manufacture is simplified by making a tension member [13] that is vertically divided into two and by sandwiching the optical fiber [1] between them and bonding it with an adhesive. Moreover, this type of tensile sensor of Figure 3 can also be used as a compression force sensor by applying compression forces to the tension member [13] from both ends.

[0026] [Working Mode 3] Figure 4 shows yet another working mode of the present invention. This working mode is a pressure sensor. In the figure, [1] is an optical fiber that has the same FBG [4] as that of the working mode [1], [5] is a disc-shaped diaphragm (strain generating member) that warps with pressure, [6] is a pressure vessel that supports the circumferential area of the diaphragm [5] in a sealed state, and [7] is a pressure fluid guiding part. In this working mode, the FBG [4] is fixated in a location away from the center of the diaphragm [5] in the diameter direction as shown in Fig. 4 (a) and (b).

[0027] Figure 4 (c) indicates the degree of the strain of each part of the radial direction obtained when pressure is applied to the diaphragm [5]. The diaphragm [5] has a certain degree of rigidity, and its circumferential area is completely fixated to the rim of the pressure vessel [6]. Therefore, with a certain radial position [T] as a border, the strain in the diaphragm's surface obtained when pressure is applied to the diaphragm [5] is elongation strain in the center-side area and is compression strain in the circumference-side area. In the case of a disc-shaped diaphragm, the position [T] at which the surface strain changes from elongation strain to compression strain is located at about 0.6 times the radius from the center.

[0028] Therefore, if the FBG [4] having even grating intervals is fixated in advance to the diaphragm [5] in a manner such that it crosses over the above position [T], one side (the center side of the diaphragm) of the FBG [4] stretches and the other side (outer-periphery side of the diaphragm) shrinks when pressure is applied to the diaphragm [5]. As a result, the grating intervals of the FBG [4] become wide on one side and narrow on the other side, and therefore, the structure of the FBG [4] turns into a chirped grating structure. Therefore, by measuring the bandwidth of the reflected wave, the degree of the pressure can be detected independently from a temperature change.

[0029] A pressure sensor having the following structure was made as a prototype.

Plate thickness of the diaphragm [5] = 0.15mm

Diameter = 25mm

Material = stainless steel

Bragg wavelength of the FBG [4] = 1.55 μ m

Bandwidth = 0.2nm

Pressure was applied to this pressure sensor and the pressure was changed from 0 to 0.3 atmospheric pressure (3m in terms of a water column), and the bandwidth of the reflected wave was about 2nm as a result. Moreover, the temperature was changed from room temperature to about 40°C, but there was no change in the bandwidth.

[0030] [Working Mode 4] Figure 5 shows yet another working mode of the present invention. This working mode can be utilized as both a tensile force sensor and a bending stress sensor. In the figure, [1] is an optical fiber that has the same FBG [4] as that of the working mode [1], and [15] is a tension member (strain generating member) made from a square metal bar. The lengthwise center of the tension member [15] is provided with a groove [16] that runs in a direction perpendicular to the lengthwise direction so that the cross-sectional area of that portion is reduced. Therefore, when the tension member [11] receives a tensile force, the groove [16] portion generates an elongation strain greater than those of other portions. The optical fiber [1] is positioned in a manner /5 such that half of the FBG [4] is inside the open zone of the groove [16] and such that the remaining half is on the tension member [15]. The optical fiber [1] is fixated to the tension member [15] at both sides of the groove [16] by means of bonding, etc.

[0031] When a tensile force is applied to the tension member [15], such a structure allows the FBG [4] to barely stretch in the area fixated

to the tension member [15] and to greatly stretch in the area that is inside the open zone of the groove [16]. Therefore, the Bragg wavelength of the FBG [4] becomes divided into two as indicated in Fig. 6, but the fact that a tensile force can be detected as a widening of the bandwidth is the same as in said working mode. Moreover, the sensor of this working mode can also be utilized as a bending stress sensor if forces are applied to the tension member [15] in the directions of the arrows, [P] and [Q], of Fig. 5(b).

[0032] [Working Mode 5] Figure 7 shows yet another working mode of the present invention. This working mode is obtained by providing a groove [16] to the lengthwise center of the tension member [15], by allowing the FBG [4] to cross over both sides of the groove [16], and by fixating both ends of the FBG [4] to the tension member [15] on both sides of the groove [16] by means of bonding. Such a structure can also achieve the same effects as those of the working mode [4].

[0033] [Working Mode 6] Figure 8 shows yet another working mode of the present invention. This working mode is a tensile force sensor. In the figure, [1] is an optical fiber, [2] is a core, [3] is a cladding, [4] is an FBG [4] that has even grating intervals and that is provided to one lengthwise portion. The cladding [3] of the zone containing the FBG [4] is etched into a tapered shape by means of hydrofluoric acid, etc. [17] is a tension member (strain generating member) made from a metal bar or a metal plate that has uniform cross-sectional areas in the lengthwise direction. As for the optical fiber [1], both sides of the tapered portion [18] are fixated to the tension member [17] by means of

bonding, etc.

[0034] When a tensile force is applied to the tension member [17] of such a structure, a uniform elongation strain occurs in the lengthwise direction in the tension member [17], but the elongation strain that occurs becomes greater as the outside diameter becomes smaller in the tapered portion [18] of the optical fiber [1]. For this reason, the FBG [4] shifts from a condition in which the grating intervals are even to a condition (chirped grating structure) in which they are uneven, and the degree of the tensile force can be measured by measuring the bandwidth.

[0035] [Effects of the Invention]

As explained earlier, the present invention allows a dynamic force to be detected by means of 1 FBG without receiving the influence of temperature changes and also allows an FBG having even grating intervals to be utilized. For this reason, the conventional problems of cases in which two FBGs are utilized or in which an FBG having a chirped grating structure is utilized can be solved.

[Brief Explanation of the Drawings]

[Figure 1] (a) is a plane view and (b) is a front view that show one working mode of a tensile force sensor pertaining to the present invention.

[Figure 2] A graph that indicates the waveform of a reflected wave of the FBG of the tensile force sensor of Fig. 1.

[Figure 3] A perspective drawing that shows another working mode of the tensile sensor pertaining to the present invention.

[Figure 4] (a) is a plane view, (b) is a cross-sectional drawing of the b-b line of (a), and (c) is a graph of the strain of the diaphragm that indicate one working mode of a pressure sensor pertaining to the present invention.

[Figure 5] (a) is a plane view and (b) is a cross-sectional drawing of the b-b line of (a) that indicate yet another working mode of a tensile force sensor pertaining to the present invention.

[Figure 6] A graph that indicates the waveform of the reflected wave of the FBG of the tensile force sensor of Fig. 5.

[Figure 7] (a) is a plane view and (b) is a cross-sectional drawing of the b-b line of (a) that indicate yet another working mode of a tensile force sensor pertaining to the present invention.

[Figure 8] A cross-sectional drawing showing yet another working mode of the tensile force sensor pertaining to the present invention.

[Figure 9] A cross-sectional drawing showing the structure of an FBG.

[Figure 10] (a) is a plane view and (b) is a cross-sectional drawing of the b-b line of (a) that indicate a pressure sensor for which a conventional FBG is utilized.

[Figure 11] A cross-sectional drawing showing an FBG having a chirped grating structure.

[Explanation of the Reference Numerals]

[1] = optical fiber

[4] = FBG (optical fiber Bragg grating)

[5] = diaphragm

[6] = pressure vessel

[11] = plate-shaped tension member

[12] = portion that narrows gradually

[13] = tension member having a round-bar shape

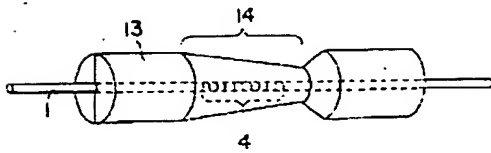
[14] = tapered portion

[15] = tension member having a square-bar shape

[16] = groove

[17] = tension member having uniform cross-sectional areas.

[Figure 3]



[Figure 11]

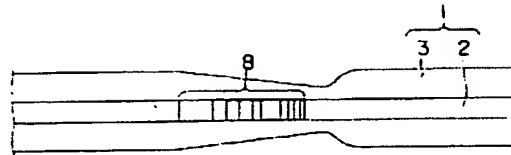


Figure 1

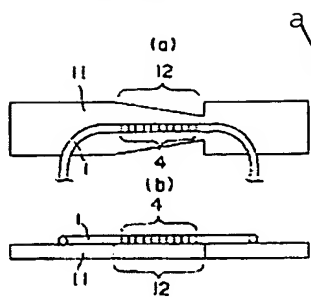
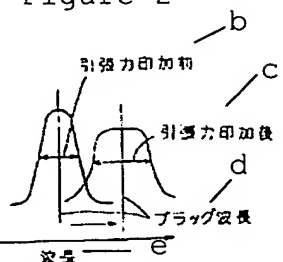
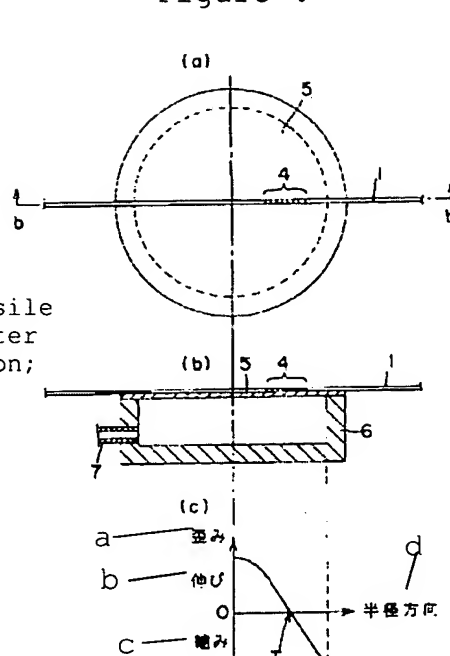


Figure 2



Key: a) Reflected light intensity; b) Before tensile force application; c) After tensile force application; d) Bragg wavelength; e) Wavelength.

Figure 4



Key: a) strain; b) elongation; c) compression; d) radial direction.

Figure 5

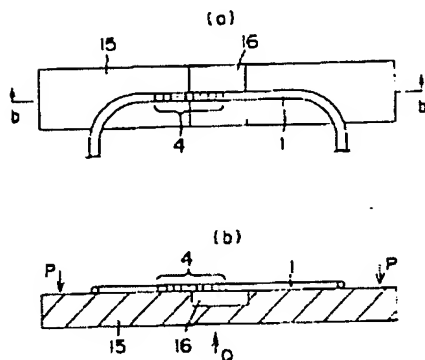
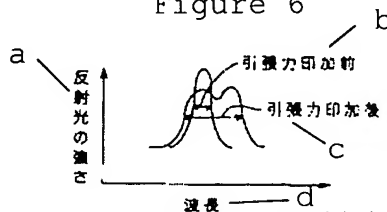


Figure 6



Key: a) Reflected light intensity; b) Before tensile force application; c) After tensile force application; e) Wavelength.

Figure 9

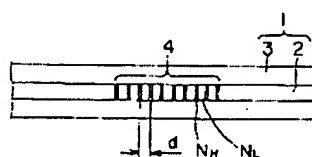


Figure 7

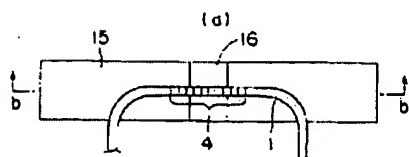


Figure 8

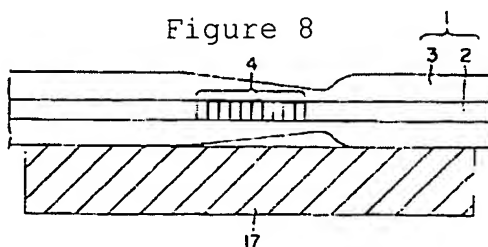


Figure 10

